

Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Научная статья
УДК 62-112.83
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/3-10>

Н.В. Котенева, А.Д. Борисова, Н.В. Перфильева

КОТЕНЕВА НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА – к.т.н., доцент кафедры, sopromat116@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-0956-7631>
БОРИСОВА АНАСТАСИЯ ДМИТРИЕВНА – к.т.н., доцент кафедры (автор, ответственный за переписку), n.perfileva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6377-4343>
ПЕРФИЛЬЕВА НАТАЛЬЯ ВАДИМОВНА – д.т.н., профессор кафедры, nvperfileva@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0923-6979>
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
Барнаул, Россия

Техническое решение для оценки контактной жесткости и прочности стыковых поверхностей форсунки

Аннотация: От работоспособности форсунки зависит качество работы двигателя, его долговечность, соответствие экологическим нормам и требованиям, а от контактной прочности, жесткости и работоспособности ее сопрягаемых поверхностей (различных соединений, которые можно отнести к условно-неподвижным) – нормальная эксплуатация рассматриваемой конструкции в целом. На базе существующей технологии производства форсунок и с использованием физико-математической модели упругопластического контактирования, созданной авторами, предложено техническое решение для оценки контактной жесткости и прочности стыковых поверхностей форсунки для распыления топлива. Авторами установлено, что работа двигателя в целом зависит от характеристик контактирующих поверхностей форсунки, а именно параметров микрогеометрии шероховатого слоя, фактической площади соприкосновения, податливости, физико-механических свойств материалов контактной пары, условий нагружения. На основе проведенных авторами исследований и комплексного анализа при заданных геометрических размерах конструкции форсунки двигателя внутреннего сгорания и условий работы ДВС разработано техническое решение, позволяющее повысить контактную жесткость стыковых сопряжений форсунки для распыления топлива и равномерного его распределения в камере сгорания дизеля в 1,2–1,5 раза. Таким образом, предлагаемое авторами решение показало свою эффективность, и его можно рекомендовать для применения в ДВС, в том числе в судовых двигателях.

Ключевые слова: контактная прочность и жесткость, упругопластический контакт, форсунка, динамические нагрузки, сопрягаемые поверхности, авторский метод, оценка контактной прочности соединений, оценка жесткости соединений

Для цитирования: Котенева Н.В., Борисова А.Д., Перфильева Н.В. Техническое решение для оценки контактной жесткости и прочности стыковых поверхностей форсунки // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2021. № 4(49). С. 3–10. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/3-10>

Введение

Двигатель внутреннего сгорания транспортного средства как наиболее важный и сложный агрегат транспортной машины во многом определяет производительность и надежность при выполнении требуемых рабочих функций. Современные направления совершенствования ДВС – снижение затрат на его изготовление, оптимизация регулировок и показателей в различных условиях работы – обуславливают и повышение качества машин [4, 12]. Наряду с традиционными путями улучшения качества ДВС конкретные направления его развития во многом зависят от особенностей рабочего процесса в сопрягаемых поверхностях элементов топливной

© Котенева Н.В., Борисова А.Д., Перфильева Н.В., 2021

Статья: поступила: 06.07.2021; рецензия: 14.07.2021; финансирование: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.

аппаратуры как наиболее вероятной причины нестабильной работы ДВС в различных режимах [9, 10, 15].

Термин «топливная аппаратура» предполагает общее название топливной системы, основная ее функция – снабжать двигатель топливом. Отдельные узлы, агрегаты и детали, из которых состоит топливная аппаратура, могут быть установлены как на двигателе, так и вне его. Различают топливную аппаратуру, состоящую либо из отдельных деталей, таких как топливный насос высокого давления (ТНВД) и форсунка, либо объединённых в один узел – насос–форсунка. Форсунка – это исполнительная часть двигателя, которая обеспечивает впрыск жидкости под определенным давлением, а распылитель форсунки – это элемент топливной системы двигателя, отвечающий за распыление дизельного топлива в камеру сгорания. Хотя распылитель считается самым ненадежным элементом механизма форсунки, практика показывает, что по мере эксплуатации транспортной машины износу подвергаются и другие ее детали, такие как гайка распылителя или корпус форсунки. Износ, как правило, возникает в зоне соприкосновения деталей и вызывается динамическим воздействием, из-за которого в контакте сопрягаемых поверхностей образуются трещины, царапины и деформации. Поэтому так важно перед установкой распылителя в форсунку оценить его качество и работоспособность с учетом явлений, происходящих в зоне контакта сопрягаемых поверхностей форсунки.

Таким образом, для повышения долговечности и достижения высокой надежности топливной аппаратуры машин большое значение имеет учет контактной прочности и жесткости ее деталей и узлов. Исследования показывают, что с точки зрения обеспечения контактной прочности и жесткости деталей машин и механизмов наиболее интересными и сложными являются динамические задачи [2, 6, 11, 13]. Они актуальны как для развития фундаментальных исследований механики деформируемого твердого тела, так и для решения прикладных задач при конструировании машин и механизмов.

В инженерной практике, как правило, необходимо более детально описывать характер контактного взаимодействия с учетом явлений, происходящих в контакте как в пределах упругости, так и в условиях упругопластического взаимодействия. Данный подход позволяет выявить факторы, которые, как мы предполагаем, окажутся существенными при описании характеристик динамического упругопластического контакта [1, 3, 7, 8, 14].

Данная статья посвящена практическому применению разработанной авторами методики оценки контактной прочности и жесткости [8, 13] применительно к стыковым сопряжениям форсунки, включающим различные соединения, от прочности и работоспособности которых зависит нормальная эксплуатация рассматриваемой конструкции в целом. В конечном итоге на основе полученных нами результатов разработано новое техническое решение с учетом параметров контактирования поверхностей форсунки.

Постановка задачи и методы решения

В данном исследовании рассматривается форсунка, предназначенная для распыления топлива и равномерного распределения его в камере сгорания дизеля. Вместе с топливным насосом она обеспечивает требуемую интенсивность впрыска топлива при хорошем качестве его распыления.

На рисунке представлено предлагаемое нами техническое решение для форсунки с боковым подводом топлива, с верхним расположением пружины и дренажом, осуществляемым посредством отвода просочившегося топлива через трубку, присоединенную к колпаку. В головке двигателя форсунка фиксируется с помощью прижимного фланца (не показан) и центрируется по гайке распылителя и корпусу форсунки.

Нижний торец корпуса форсунки (см. рисунок) закален и тщательно обработан, а сам корпус (позиция 2) получен методом горячей штамповки. К торцу гайкой (позиция 1) присоединен распылитель (позиция 4), посредством которого и происходит распыление топлива. Игла распылителя плотно прижимается к корпусу распылителя пружиной и закрывает сопловые отверстия, при этом корпус распылителя и игла составляют прецизионную пару, которая при эксплуатации испытывает контактные упругопластические перемещения.

В процессе эксплуатации корпус распылителя подвергается высоким динамическим и термическим нагрузкам (в данном исследовании влияние термических нагрузок не рассматривается). Сложные условия эксплуатации корпуса распылителя обуславливают особые требования к прочности, вязкости и износостойкости материала, из которого он изготовлен.

Так же, как и сопряжение корпус распылителя–игла, сопряжение распылитель–торец корпуса, составляет беспрокладочное прецизионное герметичное соединение. Распылитель стягивается с корпусом форсунки гайкой распылителя, а от взаимного поворота эти детали фиксируют штифтами.

Принцип работы форсунки заключается в следующем: посредством насоса топливо по топливным проводам, пройдя через сетчатый фильтр (позиция 8), исключая засорение отверстий изнутри и повреждение запирающего конуса, поступает в полость высокого давления и по топливному каналу в корпусе форсунки попадает в топливный канал, но уже распылителя. Топливо сжимается по мере того как происходит движение управляющего плунжера, что увеличивает давление в камере.



Форсунка типа 171:

**1 – гайка распылителя; 2 – корпус форсунки; 3 – винт регулировочный;
4 – распылитель; 5 – штанга; 6 – гайка конtringящая; 7 – колпак; 8 – сетчатый фильтр
(рис. Н.В. Котеновой, создан в процессе работы по внедрению метода
на Алтайском заводе прецизионных изделий)**

Усилие, создаваемое топливом, в определенный момент преодолевает силу нажатия пружины, что приподнимает иглу распылителя. В результате топливо выходит через сопловой аппарат из распылителя с большой скоростью, и когда кромка управляющего плунжера топливного насоса встретится с окном перепуска, расположенным во втулке плунжера, давление в системе будет снижаться. Под действием пружины игла распылителя закроет сопловое отверстие и впрыск прекратится.

Просачивающееся в процессе эксплуатации между иглой и корпусом распылителя топливо обеспечивает смазывание прецизионных частей, отводит теплоту и создает ванну для пружины. Затем топливо поступает в камеру корпуса форсунки (полость низкого давления) и через отверстие по трубке, прикрепленной к колпаку (позиция 7), отводится наружу в топливный фильтр или топливный бак.

Для установления давления впрыска форсунку регулируют винтом (позиция 3), который ввернут в ее корпус, и сверху стопорится конtringящей гайкой (позиция 6). При установке форсунки на двигатель используется достаточно «мягкая», отожденная медная прокладка, обеспечивающая надежное уплотнение.

При наворачивании гайки распылителя на корпус форсунки уплотнительный торец распылителя прижимается к торцу корпуса. Штанга (позиция 5) с одной стороны центрирует нажимную пружину, а с противоположной стороны направляющая штанги соединена с хвостовиком иглы распылителя.

Канал высокого давления в корпусе форсунки направляет топливо к подводному отверстию в корпусе распылителя, связывая распылитель с нагнетательной магистралью топливного

насоса. Для исключения попадания топливной примеси в корпус форсунки устанавливается фильтр тонкой очистки, имеющий щели шириной 0,05–0,1 мм между стальными пластинками.

Для нормальной эксплуатации узла корпус форсунки, корпус распылителя и промежуточные детали должны быть стянуты в неразрывный «столбик» гайкой распылителя таким образом, чтобы не произошло раскрытие стыка.

Учитывая вышесказанное, экспертные исследования проводились одновременно по трем направлениям:

- прецизионное герметичное соединение (торец распылителя–торец корпуса форсунки), от плотности и герметичности которого зависит работоспособность форсунки в целом;
- герметичность резьбового соединения гайки распылителя форсунки;
- резьбовое соединение, осуществляющее крепление форсунки в головке двигателя.

Следующий шаг – *определение параметров, которые могут оказать значительное влияние на динамические характеристики сопряжений форсунки*. Учитывая требования, предъявляемые к сопряжениям форсунки, в качестве изменяемых параметров были выбраны: усилие затяжки для резьбовых соединений форсунки, шероховатость контактных поверхностей и параметры, характеризующие свойства материала деталей сопряжений форсунки.

Изменяя выбранные параметры, рассчитываем амплитуду и период колебательного процесса в сопрягаемых поверхностях форсунки, которые могут повлиять на герметичность соединений. Кроме того, необходимо следить, чтобы контактный процесс не выходил за пределы упругопластического взаимодействия. При исследовании нормальных сближений и напряжений в рассматриваемых сопряжениях форсунки применялась авторская физико-математическая модель упругопластического контакта [8]. Был установлен диапазон внедрений, при которых в контакте реализуется упругое, упругопластическое или пластическое взаимодействие. Для ускорения поиска оптимального сочетания параметров конструирования форсунки для распыления топлива в процессе исследований использовался программный комплекс по расчету параметров условно-неподвижных соединений при динамическом контактом взаимодействии.

В диапазоне внедрений (1) в зоне сопряжений форсунки отмечаются упругопластические деформации:

$$\left[\frac{\sigma_m (1-\mu^2) R^{1/2}}{0,21\nu(\nu-1)k_y b E R_{\max}^{1/2}} \right]^{\frac{2}{2\nu+1}} \leq \frac{h}{R_{\max}} < \left[\frac{\sigma_m}{H} \right]^{\frac{1}{\nu}} \frac{1}{k_y^{1/\nu-1}}, \quad (1)$$

где h – упругопластическое сближение в условиях статического нагружения, определяемое по

$$\text{формуле } h = \frac{R_{\max} F^{\frac{1}{\nu}}}{(A_a b H)^{\frac{1}{\nu}} k_y^{\frac{1}{\nu-1}}},$$

где A_a – номинальная площадь контакта; b, ν – шаговые параметры профиля; H – пластическая твердость; R_{\max} – наибольшая высота профиля; k_y – коэффициент упругости [5]; E, μ – модуль упругости 1-го рода и коэффициент Пуассона соответственно; σ_m – предел текучести материала.

Результаты проведенных исследований легли в основу приведенных ниже рекомендаций (см. таблицу) по улучшению конструкции форсунки с учетом контактной жесткости и прочности стыковых поверхностей рассматриваемой конструкции.

Анализ результатов

Итак, приведем результаты, полученные теоретическим путем с использованием методики оценки контактной прочности и жесткости [8] сопряжений форсунки для распыления топлива и равномерного распределения его в камере сгорания дизеля.

Получена зависимость амплитуды и периода нормальных колебаний от параметров микрогеометрии поверхностного слоя сопряженных поверхностей резьбового соединения

гайки распылителя: *установлено, что уменьшение параметров микрогеометрии приводит к снижению амплитуды и возрастанию частоты процесса.*

Влияние усилия затяжки на колебательный процесс в резьбовом соединении гайки распылителя форсунки: расчеты показали, что увеличение момента затяжки приводит к росту динамической жесткости резьбового соединения гайки распылителя форсунки. При выборе усилия затяжки необходимо не только обеспечивать герметичность соединения, но и проверять условия возникновения пластических деформаций в сопряжении, которые недопустимы.

Прецизионное герметичное соединение «торец распылителя–торец корпуса форсунки»: анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что характер зависимостей $x(t)$ при различных условиях аналогичен резьбовому соединению. Кроме того, прослеживается согласованность с теоретическими расчетами, проведенными авторами ранее.

В поведении прецизионной пары торец распылителя–торец корпуса форсунки необходимо учитывать один момент: пружина форсунки через штангу действует на иглу распылителя и мешает прижать торцы друг к другу. Заворачивая гайку распылителя, преодолевая усилие пружины, сжимая её, торцы корпуса форсунки и корпуса распылителя соприкасаются и прижимаются друг к другу, обеспечивая герметичность соединения. При этом также необходимо отслеживать соблюдение условия контактной прочности.

При исследовании сопряжения резьбового соединения корпуса форсунки в месте ее крепления к головке двигателя установлено, что амплитуда нормальных колебаний несколько выше, чем в резьбе гайки распылителя. Однако характер зависимостей теоретических значений амплитуд нормальных колебаний сохраняется.

Сравнительный анализ, выводы и рекомендации

По результатам исследования мы провели сравнительный анализ и разработали рекомендации (см. таблицу).

Сравнительный анализ

Заводской вариант	Рекомендуемый вариант
Резьбовое соединение гайки распылителя форсунки	
<i>1. Параметры микрогеометрии шероховатого слоя резьбы</i>	
$0,63 \cdot 10^{-6} \leq R_a \leq 1,25 \cdot 10^{-5}, \text{ м}$	$0,32 \cdot 10^{-6} \leq R_a \leq 0,63 \cdot 10^{-5}, \text{ м}$
<i>2. Физико-механические свойства материала</i>	
$800 \text{ МПа} \leq \sigma_m \leq 850 \text{ МПа}$	$850 \text{ МПа} \leq \sigma_m \leq 1600 \text{ МПа}$
Резьбовое соединение корпуса форсунки	
<i>1. Параметры микрогеометрии шероховатого слоя резьбы</i>	
$0,63 \cdot 10^{-6} \leq R_a \leq 2,5 \cdot 10^{-5}, \text{ м}$	$0,63 \cdot 10^{-6} \leq R_a \leq 1,25 \cdot 10^{-5}, \text{ м}$
<i>2. Физико-механические свойства материала</i>	
$800 \text{ МПа} \leq \sigma_m \leq 850 \text{ МПа}$	$850 \text{ МПа} \leq \sigma_m \leq 1600 \text{ МПа}$
Прецизионная пара «торец распылителя–торец корпуса форсунки»	
<i>1. Параметры микрогеометрии сопряженных поверхностей</i>	
$0,63 \cdot 10^{-6} \leq R_a \leq 1,25 \cdot 10^{-5}, \text{ м}$	$0,32 \cdot 10^{-6} \leq R_a \leq 0,63 \cdot 10^{-5}, \text{ м}$

Итак, мы проанализировали факторы, оказывающие наиболее сильное влияние на конструктивные особенности форсунки и ее работоспособность. Проведена практическая реализация части предыдущих авторских прикладных исследований, а именно: результаты расчетов нормальных контактных смещений и напряжений в стыках в упругопластической зоне с учетом условий нагружения, физико-механических свойств используемых материалов, параметров микрогеометрии в контакте соединений. На этом основании предложены рекомендации

по улучшению конструкции форсунки, учитывающие процессы контактного взаимодействия в сопряжениях рассматриваемого изделия, которые предусматривают следующее:

– для достижения требуемых параметров контактирования в условиях динамического нагружения необходимо учитывать характеристики микрогеометрии сопряженных поверхностей форсунки. Оптимальные условия достигаются уменьшением параметра R_{max} , что влечет за собой повышение динамической контактной жесткости сопряжений и обеспечивает наилучшую герметичность стыка;

– влияние момента затяжки резьбового соединения гайки распылителя имеет двойственное значение. С одной стороны, рост усилия затяжки приводит к возрастанию динамической жесткости, с другой – в сопряжении могут возникнуть значительные пластические контактные деформации. Поэтому наряду с оценкой контактной жесткости сопряжений форсунки необходимо производить и оценку контактной прочности этих же сопряжений;

– добиться оптимального сочетания контактной прочности и жесткости сопряжений форсунки можно выбором материала. Исследования показали, что для надежной работы форсунки необходимо выбирать материал с высокой твердостью поверхностного слоя и вязкостью;

– несмотря на то что числовые значения амплитуды и периода нормальных контактных колебаний в разных сопряжениях форсунки разные, влияние параметров нагружения одинаково, и это совпадает с теоретическими результатами расчетной модели;

– при выборе материала корпуса форсунки необходимо учитывать, что крепление форсунки в головке двигателя происходит с помощью фланца, отштампованного заодно с корпусом. А поскольку гайка распылителя накручивается на корпус, то материал корпуса должен иметь предел текучести не ниже, чем у гайки распылителя. Этим требованиям удовлетворяют цементированные легированные никелем и хромом стали с твердой поверхностью и вязкой основой.

Применение пакета прикладных программ для расчета сочетания параметров форсунки уже на стадии проектирования позволило получить новое конструктивное решение сборочной единицы (форсунки для распыления топлива). Предложенная нами методика расчета позволит повысить надежность прецизионного герметичного соединения форсунки за счет изменения параметров, определяющих работоспособность форсунок.

Дальнейшее направление наших исследований – последующая разработка и уточнение теории упругопластического контакта с учетом температурного влияния на процессы деформации для широкого класса условно-неподвижных соединений деталей машин при динамическом нагружении.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.М., Чебанов М.И. Аналитические методы в контактных задачах теории упругости. М.: Физматлит, 2004. 304 с. URL: <https://bookree.org/reader?file=577456> (дата обращения: 20.06.2021).
2. Беклемышева К.А., Петров И.Б., Фаворская А.В. Численное моделирование процессов в твердых деформируемых средах при наличии динамических контактов с помощью сеточно-характеристического метода // Труды МФТИ. 2013. Т. 5, № 3(19). С. 3–10. URL: https://mipt.ru/science/trudy/a_66p7vp.php (дата обращения: 15.06.2021).
3. Воронцов А.Л., Стратьев В.К., Ступников В.П. Определение напряженного и деформированного состояний и учет упрочнения при внедрении пуансона в тело больших поперечных размеров // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. № 3(88). С. 47–60. URL: <https://clck.ru/Xs3pK> (дата обращения: 08.06.2021).
4. Грехов Л.В., Денисов А.А., Старков Е.Е., Кулешов А.С. Концепция и разработка перспективных конструкций форсунок аккумуляторного типа для среднеоборотных дизелей // Известия вузов. Сер. Машиностроение. 2017. № 10(691). С. 43–51. doi:10.18698/0536-1044-2017-10-43-51
5. Дрозд М.С., Матлин М.М., Сидягин Ю.И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. М.: Машиностроение, 1986. 220 с.
6. Елисеев А.В., Елисеев С.В., Кашуба В.Б. Методологические подходы к моделированию контактных взаимодействий в вибрационных технологических процессах и машинах с учетом неударяющих связей // Science, Technology and Life - 2014: Proceedings of the international

- scientific conference, Karlovy Vary, Czech Republic, 27–28 Desember 2014. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23258601> (дата обращения: 22.09.2021).
7. Колесников Ю.В., Морозов Е.М. Механика контактного разрушения. М.: Наука, 2010. 224 с. URL: <https://clck.ru/Xs3E7> (дата обращения: 11.06.2021).
 8. Котенева Н.В., Перфильева Н.В., Перфильева А.Д. Исследование контактного взаимодействия твердых тел в условиях вибрационных нагрузок // Вестник российских университетов. Математика. 2013. № 4–2. URL: <https://clck.ru/Xs3Jq> (дата обращения: 22.09.2021).
 9. Лазарев В.Е., Ломакин Г.В. Напряженное состояние контактного слоя прецизионного сопряжения при тепловой защите распылителя форсунки в дизеле // Вестник ЮУрГУ. 2010. № 29. С. 38–44. URL: <https://clck.ru/Xs3br> (дата обращения: 19.06.2021).
 10. Михайлова, Л.Ю. Диагностирование форсунки и насоса высокого давления по анализу движения иглы // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технология. 2012. № 3(113). С. 172–176. URL: <https://clck.ru/Xs3h8> (дата обращения: 15.06.2021).
 11. Скопинский В.Н., Семенов А.М., Вожов Р.А. Определение предельной пластической нагрузки в сферической оболочке с патрубком при комбинированном нагружении // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2014. № 2(95). С. 3–15. URL: <https://clck.ru/Xs3m2> (дата обращения: 03.07.2021).
 12. Фомин Ю.Я., Никонов Г.В., Ивановский В.Г. Топливная аппаратура дизелей: справочник. М.: Машиностроение, 1982. 168 с., ил.
 13. Maksimenko A.A., Koteneva N.V., Perfilieva N.V., Borisova A.D. Analysis of dynamic characteristics of a contact interaction of solids using computational software. PNRPU Mechanics Bulletin. 2019;(2):135–142. doi:10.15593/perm.mech/2019.2.10
 14. Hyun S., Robbins M.O. Elastic contact between rough surfaces. Tribology International. 2007;40:1413–1422. doi:10.1016/J.TRIBOINT.2007.02.003
 15. Xiao Sinan, Lu Zhenzhou, Wang Pan. Multivariate global sensitivity analysis for dynamic models based on wavelet analysis. Reliability. Engineering and System Safety. 2018;170(C):20–30. doi:10.1016/j.res.2017.10.007

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2021. N 4/49

Dynamics, Durability of Machines, Instruments and Equipmentwww.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/3-10>

Koteneva N., Borisova A., Perfilieva N.

NATALIA V. KOTENEVA, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

sopromat116@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0956-7631>

ANASTASIA D. BORISOVA, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,

(corresponding author), n.perfileva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6377-4343>

NATALIA V. PERFILEVA, Doctor of Engineering Sciences, Professor, nvperfileva@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-0923-6979>*Altai State Technical University named after I.I. Polzunov*

Barnaul, Russia

Technical solution for evaluation of contact stiffness and strength of the joint surfaces of injector

Abstract: The quality of the engine work, service-life time, compliance with the environmental standards and requirements depends on workability of the injector. The normal operation of mentioned structure as a whole depends on the contact strength, stiffness and workability of its joint surfaces (different connections which can be related to conditionally fixed). A technical solution was proposed for evaluation the contact stiffness and strength of the joint surfaces of the engine injector based on the existing technology of injector fabrication and physical-mathematical model of elastoplastic contacts developed by the authors. The authors found that the work of the engine as a whole depends on the characteristics of the contacting surfaces of the injector, especially the microgeometry parameters of the rough layer, real contact area, ductility, physical-mechanical properties of the materials of the contact pair and loading conditions. A technical solution has been developed allowing to increase the contact stiffness of the contact joints of injector for fuel uniform distribution in the

diesel combustion chamber by 1.2–1.5 times. This solution is based on the author's study and complex analysis for given geometric dimensions of the injector and operation conditions of internal combustion engine. Thus, the solution proposed by the authors has shown its efficiency and can be recommended for application in the internal combustion engines including ship engines.

Keywords: contact strength, stiffness, elastic-plastic contact, nozzle, dynamic load, joint surface, evaluation

For citation: Koteneva N., Borisova A., Perfilieva N. Technical solution for evaluation of contact stiffness and strength of the joint surfaces of injector. FEFU: School of Engineering Bulletin. 2021;(49):3-10. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/3-10>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Alexandrov V.M., Chebanov M.I. Analytical methods in contact problems of elasticity theory. Moscow: Fizmatlit, 2004, 304 p. URL: <https://bookree.org/reader?file=577456> – 20.06.2021.
2. Beklemysheva K.A., Petrov I.B., Favorskaya A.V. Numerical modeling of processes in solid deformable media in the presence of dynamic contacts using the grid-characteristic method. Proceedings of the Moscow Institute of Physics and Technology. 2013;(19):3–10. URL: https://mipt.ru/science/trudy/a_66p7vp.php – 15.06.2021.
3. Vorontsov A.L., Stratiev V.K., Stupnikov V.P. Determination of stressed and deformed states and consideration of hardening when introducing a punch into a body of large transverse dimensions. Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mashinostroenie. 2012;(88):47–60. URL: <https://clck.ru/Xs3pK> – 08.06.2021.
4. Grekhov L.V., Denisov A.A., Starkov E.E., Kuleshov A.S. Concept and development of perspective designs of battery-type injectors for medium-speed diesel engines. Izvestiya vuzov. Ser. Mashinostroenie. 2017;(691):43-51. doi:10.18698/0536-1044-2017-10-43-51
5. Drozd M.S., Matlin M.M., Sidyakhin Yu.I. Engineering calculations of elastic-plastic contact deformation. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 220 p.
6. Eliseev A.V., Eliseev S.V., Kashuba V.B. Methodological approaches to modeling contact interactions in vibrational technological processes and machines taking into account unstopable connections. Science, Technology and Life - 2014: Proceedings of the International Scientific Conference, Karlovy Vary, Czech Republic, December 27–28, 2014. 146–155 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23258601> – 08.06.2021.
7. Kolesnikov Yu.V., Morozov E.M. Mechanics of contact destruction. M., Nauka, 2010. 224 p. URL: <https://clck.ru/Xs3E7> – 11.06.2021.
8. Koteneva N.V., Perfilieva N.V., Perfilieva A.D. Investigation of contact interaction of solids under vibration loads. Bulletin of Russian Universities. Mathematics. 2013;(4). URL: <https://clck.ru/Xs3Jq> – 22.09.2021.
9. Lazarev V.E., Lomakin G.V. The stressed state of the contact layer of precision coupling during thermal protection of the nozzle atomizer in diesel. Bulletin of SUSU. 2010;(29):38-44. URL: <https://clck.ru/Xs3br> – 19.06.2021.
10. Mikhailova, L.Yu. Diagnosing a nozzle and a high-pressure pump by analyzing the movement of a needle. Omsk Scientific Bulletin. Ser. Devices, machines and technology. 2012;(113):172–176. URL: <https://clck.ru/Xs3h8> – 15.06.2021
11. Skopinsky V.N., Semenenko A.M., Vozhov R.A. Determination of the ultimate plastic load in a spherical shell with a nozzle under combined loading. Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mashinostroenie. 2014;(95):3-15. URL: <https://clck.ru/Xs3m2> – 03.07.2021.
12. Fomin Yu.Ya., Nikonov G.V., Ivanovsky V.G. Diesel fuel equipment: handbook. M., Mechanical Engineering, 1982, 168 p.
13. Maksimenko A.A., Koteneva N.V., Perfilieva N.V., Borisova A.D. Analysis of dynamic characteristics of contact interaction of solids using computational software. Bulletin of Mechanics of PNRPU. 2019;(2):135-142. doi:10.15593/perm.mechanics/2019.2.10
14. Hyun S., Robbins M.O. Elastic contact between rough surfaces. International Tribology. 2007;(40):1413–1422. doi:10.1016/J.TRIBOINT.2007.02.003
15. Xiao Sinan, Lu Li, Wang Peng. Multidimensional global sensitivity analysis of dynamic models based on wavelet analysis. Reliability. Engineering and system security. 2018;(170):20–30. doi:10.1016/j.res.2017.10.007